

油气区带风险评价方法

刘曾勤¹, 吕睿²

1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102206;

2. 中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029

摘要: 风险和不确定性是油气区带勘探的固有属性, 周详的勘探计划需要规避风险和准确认识不确定性。根据中国石化海外油气勘探项目特点, 以及国际公司勘探项目评价标准, 通过定量评估油气区带的油气生排烃能力、储层质量、封盖条件和圈闭有效性, 建立油气区带风险赋值标准和评价流程。基于油气区带的密度、覆盖范围和地质认识, 按照木桶理论确定 4 个风险要素的存在概率, 将每个因素的风险概率值相乘获得油气区带的地质成功概率。该评价方法提供了一种将定性地质认识和勘探信息, 定量转化为各个要素风险概率及区带整体的地质成功概率。地质成功概率综合反映了区带的勘探程度和地质特征, 决定了油气勘探风险的大小。油气区带风险评价方法可以优选勘探区, 聚焦勘探评价工作, 为勘探投资决策提供科学依据。

关键词: 油气区带; 区带风险; 不确定性; 地质成功概率; 油气评价

中图分类号: TE15

文献标识码: A

Play risk evaluation for hydrocarbon exploration

LIU Zengqin¹, LÜ Rui²

1. *Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 102206, China;*

2. *International Petroleum Exploration and Production Corporation, SINOPEC, Beijing 100029, China*

Abstract: Risk and uncertainty are coherent attributes in hydrocarbon play exploration, and comprehensive exploration strategy requires a deliberate consideration of risk aversion and an faithful understanding of uncertainty. According to the characteristics of SINOPEC oversea oil and gas exploration projects, as well as the exploration project evaluation criteria of international oil companies, this paper describes the establishment of value-determined standards and hydrocarbon play risk workflow by quantitative assessment of hydrocarbon generation and charge capability, reservoir quality, preservation condition, and trap validity of a play. According to data density, coverage and geological understanding, in accordance with bucket theory, the probabilities of occurrence of four risk factors were determined, and the chance of geologic success (COGS) of a play was obtained by multiplying the probabilities of each risk factor. This workflow provided a method for transferring qualitative geological understanding and exploration data to quantitatively assess the risk probability of each factors and overall COGS. The COGS values determine the play risk, which is a comprehensive reflection of the exploration phase and geological characteristics of the study block. The play risk workflow facilitates high grading areas, allows a focus on the exploratory and appraisal aspects, and provides a scientific basis for exploration investment decision.

Key words: hydrocarbon play; play risk; uncertainty; chance of geologic success; hydrocarbon evaluation

我国油气对外依存度持续攀高^[1-2], 能源安全要求加快和深化油气资源的勘探评价工作。国家石油公司通过开拓“国内+国外”油气勘探业务, 担当国家能源保障的主力军。对于如何提高战略选区能力和降低勘探风险, 成为勘探评价中的核心工作^[3-7]。

石油勘探中最困难、最关键的决策不是钻探哪个圈闭, 而是进入哪个区带。区带决定了勘探工作

中的探井成功率、储量大小和经济效益^[8]。因为不确定性和风险是油气区带勘探的固有属性^[8-14], 所以如何降低不确定性和减小风险成为勘探评价的重点工作。自 1990 以来, 大型国际石油公司的勘探结果表明, 在全球范围内新发现的储量规模在减小, “高风险和高潜力”的油气区带勘探效果不佳, 探井成功率低^[8, 11]。为了优化勘探资本配置, 提高勘探效率, 逐渐形成了区带风险分析方法。

国际石油公司通过建立区带风险分析方法和油气资产组合管理原则,显著提高了探井的成功率。虽然勘探风险无法消除,但有效的风险分析结果可以帮助油气公司形成合理的投资决定。

在详细剖析区域地质资料的基础上,传统区带风险评价通过详细的石油地质条件分析,估算整体地质成功概率或风险大小。在油气区带勘探中,各个构造部位的风险大小差异大,传统区带评价结果难以指导具体勘探决策,需建立统一评价标准和流程,划分区带评价单元,量化区带中各个评价单元的风险。系统的区带风险分析需要有效识别区带的不确定性因素和主要风险,从而指导勘探投资决策,提高勘探成功率。本文通过建立风险赋值标准和流程,进行区带勘探风险评估,优选勘探机会,确定评价单元中主要风险和不确定性。

1 区带风险定义及方法

本文区带风险评价流程是在 MAGOON^[15]、WHITE^[16-17]、MAGOON 和 DOW^[18]、郭秋麟等^[19]研究的基础上,结合各大石油公司在油气勘探中发现的主要地质风险^[10-11,20-22],形成的评价方法。在风险评价过程中,区带指具有相似石油地质条件和成因联系的地质单元。区带风险定义为含油气盆地中区带实现油气商业化发现的主要地质风险,包括以下 4 个要素风险:

(1) 油气生排烃能力风险:存在有效生排烃体系的可能性(P_c),包括烃源岩的分布范围、质量、成熟度和输导体系。

(2) 储层质量风险:存在足够数量和质量储集层的可能性(P_r),包括储层沉积类型、厚度、连续性和物性。

(3) 封盖条件风险:存在有效封盖体系的可能性(P_s),包括盖层类型、分布范围、连续性和有效性。

(4) 圈闭有效性风险:存在足够数量、大小和

质量圈闭的可能性(P_l),包括圈闭类型、质量和油气运移的时间关系。

各个要素风险的具体概率值取决于地质认识和数据可用性(密度和分布),数值范围介于 0.01~0.99 之间。根据风险概率值大小可以将各个要素划分为高风险、相对高风险、相对低风险和低风险(表 1)。通过对区带中地质、地球物理和地化数据分析,形成正面地质认识(相对低风险和低风险)或负面地质认识(相对高风险和高风险)。

高风险或低风险的评估是基于直接数据或硬数据(譬如,勘探井),确认正面或负面的地质认识(表 1)。当直接数据显示巨大的油气勘探开发潜力,其风险概率值在 0.7~0.99 之间,为低风险;当直接数据表明没有勘探潜力,其风险概率值在 0.01~0.3 之间,为高风险。

相对低风险或相对高风险的评估是基于间接或软数据(譬如,勘探类比资料和露头),产生正面或负面的地质认识(表 1)。当间接数据显示存在油气勘探机会时,其风险概率值在 0.5~0.7 之间,为相对低风险;当间接数据指示勘探前景不明朗,其风险概率值在 0.3~0.5 之间,为相对高风险。

在评估每个因素风险之后,通过将每个因素风险的概率值相乘获得地质成功概率 $COGS$ ($COGS = P_c P_r P_s P_l$)。地质成功概率越高,油气区带勘探风险越低。通常,新区带的地质成功概率较低^[11],因此正确理解成功概率以及其中的风险和不确定性,对勘探活动有重大影响。油气区带风险可以划分为以下 4 类:

(1) 低区带风险: $COGS > 0.3$, 4 个因素均为低风险,区带中存在勘探发现并且有商业化生产。

(2) 相对低区带风险: $COGS$ 为 0.2~0.3, 3 个或 4 个因素均为低风险或相对低风险,区带中存在勘探发现井,但没有商业化生产。

(3) 相对高区带风险: $COGS$ 为 0.1~0.2, 3 个或 4 个因素均为相对高风险,区带中勘探井没有发

表 1 区带要素风险(P)分类

Table 1 Risk category of factors of a play

风险分类	解释结果	数据密度、覆盖范围
低风险 ($P \geq 0.7$)	几乎所有数据都是正面的结果	数据可靠,覆盖范围广,可靠性高
相对低风险 ($0.5 < P < 0.7$)	主要数据是正面的结果	数据量不多,通过类比等手段
相对高风险 ($0.3 < P < 0.5$)	主要数据是负面的结果	数据量不多,通过类比等手段
高风险 ($P \leq 0.3$)	几乎所有数据都是负面的结果	数据可靠,覆盖范围广,可靠性高

现或无商业价值。

(4)高区带风险:COGS≤0.1,3 个或 4 个因素均为高风险,区带中多口干井显示勘探潜力小。

2 区带风险评价实例

研究区是坎贝尔台地的最大深水盆地,面积约为 10×10⁴ km²,该构造单元主要为地堑和半地堑,地层为上白垩统—古近系。区带 A 中烃源岩为白垩系煤层和碳质页岩,储层为河流—三角洲相砂岩,盖层为海相页岩。盆地 6 口探井中 W-A 和 W-F 钻遇到油气显示,但未实现商业开采。在区带评价方法的基础上,根据区域地质、探井和地震资料,完成了国外深水盆地区带 A 的风险评价,包括生排烃能力风险、储层质量风险、封盖条件风险和圈闭有效性风险分析。

2.1 生排烃能力风险

生排烃能力风险大小主要取决于烃源岩和运移有效性,烃源岩有效性包括沉积范围、厚度、有机碳含量(TOC)、成熟度(R_o);运移有效性包括遮挡条件和运移距离等因素。根据资料情况和探井结果,确定烃源岩和运移有效性概率,最后按木桶理论取最小值确定生排烃能力风险(图 1)。早白垩世,整个区带 A 范围内沉积了一套富含有机质的黑色碳质泥页岩及煤系地层,是该盆地优质的烃源岩。该套烃源岩为 II 型干酪根,TOC 值高,分布在盆地主要洼陷的评价单元 I、II、III、IV 和 V 中(图 2);盆地模拟结果显示成熟度 R_o>0.8%,而且离生烃中心侧向运移距离不超过 50 km,整体上为生排烃有利区。具体看,烃源岩评价单元 I、IV、V 为油气优势聚集区,且在单元 I 和 V 内各有一口勘探发现井,属于生排烃低风险区(图 2);单元 II 由

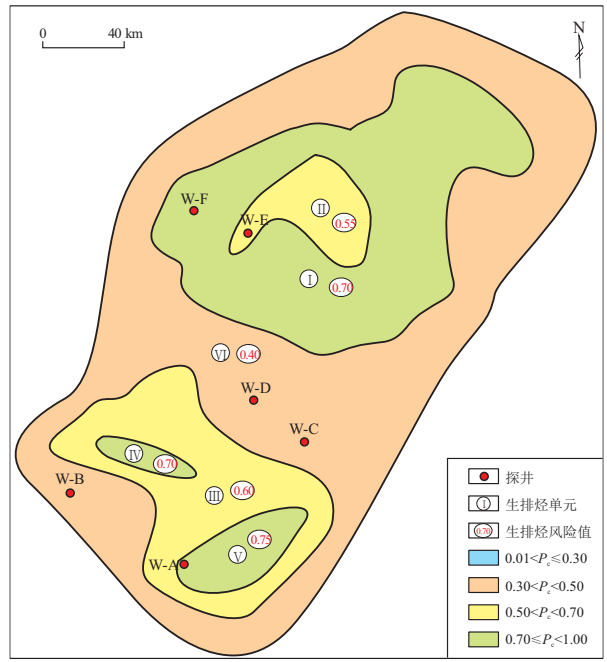


图 2 区带 A 生排烃风险评价

Fig.2 Hydrocarbon generation and charge risk of the play A
于 R_o>2%,处于过成熟阶段,所以归类为生排烃较低风险区(图 1);单元 III 内烃源岩厚度较 I、IV、V 单元薄,归类为生排烃较低风险区;单元 VI 远离生烃洼陷,侧向运移距离大于 50 km,并且多口探井显示油气未运移至此,归类为生排烃较高风险区(图 2)。

2.2 储层质量风险

储层质量风险大小主要取决于储层分布(沉积相类型、厚度、面积)和物性(孔隙度和渗透率)等因素。根据资料情况和研究结果,确定储层分布和物性概率,最后按木桶理论取最小值确定储层质量风险(图 3)。区带 A 的主要储层为河流—三角

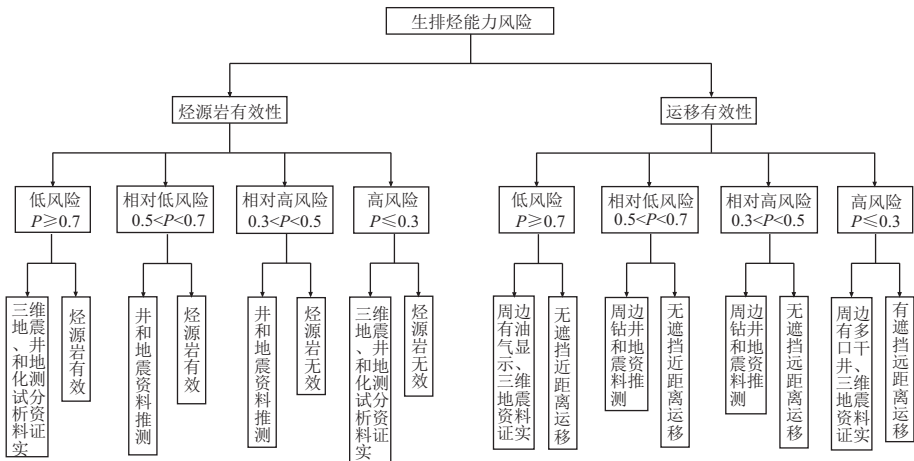


图 1 生排烃能力风险评价标准

Fig.1 Assessment standards of hydrocarbon generation and charge risk

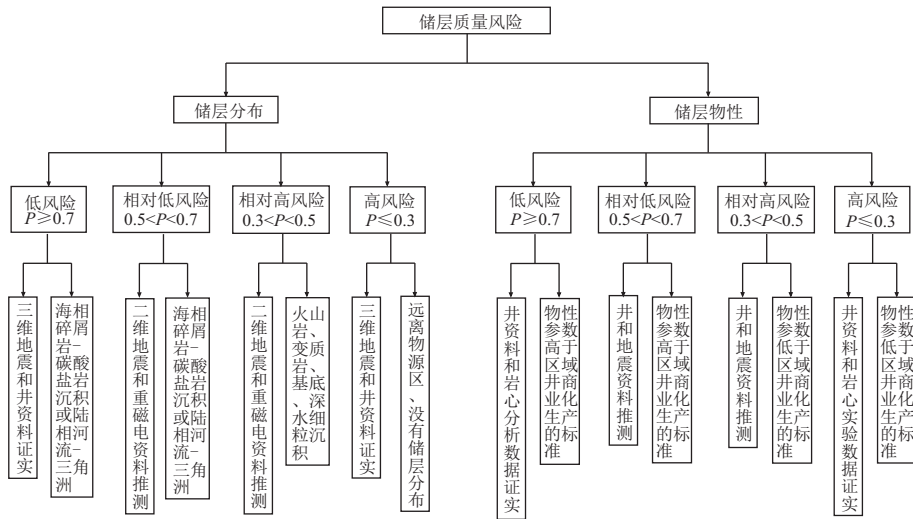


图 3 储层质量风险评价标准

Fig.3 Assessment standards of reservoir quality risk

洲相砂岩。由于井资料较少,通过区域沉积相、地层厚度图和地震属性分析,储层分布范围广,厚度大。探井显示储层质量参差不齐,孔隙度和深度交会图显示,储层深度大于 3 500 m 的时候,90%样品的孔隙度小于 10%,推测储层产能会较差。具体看,储层评价单元 I 和 II 都属于储层发育区,单元 I 储层埋深浅,但单元 II 中的储层深度大于 3 500 m,所以单元 I 属于储层质量低风险区,单元 II 属于较高风险区;储层评价单元 III 由于远离物源区,基本没有储层分布,归类为高风险区(图 4)。

2.3 封盖条件风险

封盖条件风险大小主要取决于盖层分布(沉积相类型、分布范围和厚度)和有效性(排替压力、构造破坏程度)(图 5-6)。根据资料情况和钻探结果,确定盖层分布和有效性概率,最后按木桶理论取最小值确定封盖条件风险(图 6)。晚白垩世—古新世,海平面快速上升,区带 A 沉积了一套厚层细粒沉积物,后期未遭受强烈运动。盖层主要为海相泥页岩,在封盖评价单元 I 内,所有探井都钻遇了这套岩性,因此为封盖条件较低风险区;单元 II 靠近陆架方向,主要为粗粒碎屑沉积,且探井

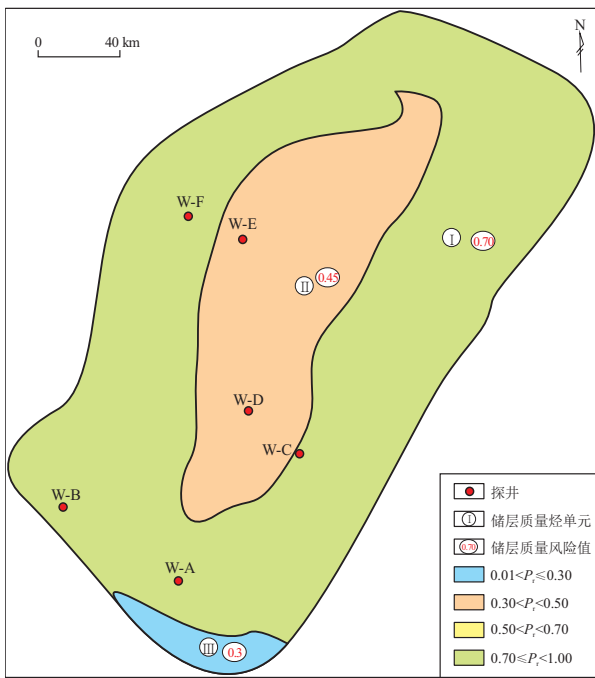


图 4 区带 A 储层质量风险评价

Fig.4 Reservoir quality risk of the play A

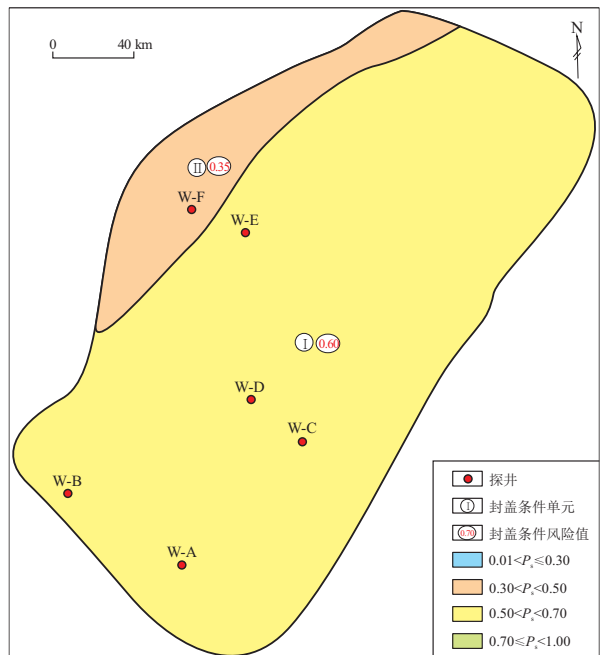


图 5 区带 A 盖层条件风险评价

Fig.5 Seal integrity risk of the play A

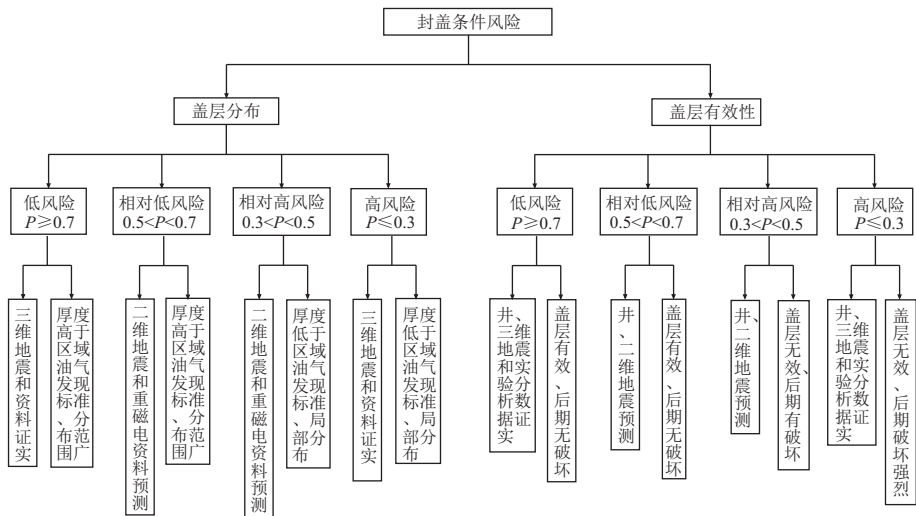


图 6 盖层条件风险评价标准

Fig.6 Assessment standards of seal integrity risk

W-G 失利的主要原因之一是缺乏盖层,因此归类为封盖条件较高风险区(图 5)。

2.4 圈闭有效性风险

圈闭有效性风险大小主要取决于圈闭存在性(类型、大小)和时间匹配性(圈闭形成时间和排烃高峰期)。根据资料情况和钻探结果,确定圈闭存在性和时间匹配性概率,最后按木桶理论取最小值确定圈闭有效性风险(图 7)。区带 A 的圈闭主要以构造圈闭为主,形成于古新世和始新世,早于烃源岩主要生排烃时期中新世。地震构造解释结果显示,圈闭评价单元 I 内存在大型低幅度构造圈闭,而且 2 口探井证实了地震预测结果,所以圈闭有效性为低风险;单元 II 位于构造带上,极有可能发育大型圈闭,但缺乏三维地震资料证实,归类为较低风险区;单元 III 和 IV 位于洼陷区,构造图未显示有效圈

闭,难以有商业发现,因此归类为高风险区;单元 V 位于盆地边缘,存在一些小型断块圈闭,但构造复杂,断层封闭性未知,属于较高风险区(图 8)。

2.5 区带风险

区带风险是生排烃能力、储层质量、封盖条件和圈闭有效性风险的综合体现。总体上,区带 A 地质成功概率低,风险高。区带风险较低的区域只有评价单元 I(图 9),面积较小,是勘探评价工作的重点区域。区带风险较高区域 II 分布范围较广(图 9),或因离生烃中心距离远,或因构造复杂,或因缺乏高精度三维地震资料,可作为研究工作的重点区域。区带高风险区域 III 分布范围最广(图 9),存在生排烃条件差、储层不发育、封盖条件不好和圈闭不发育等风险;区带风险高,不宜进行勘探投入。

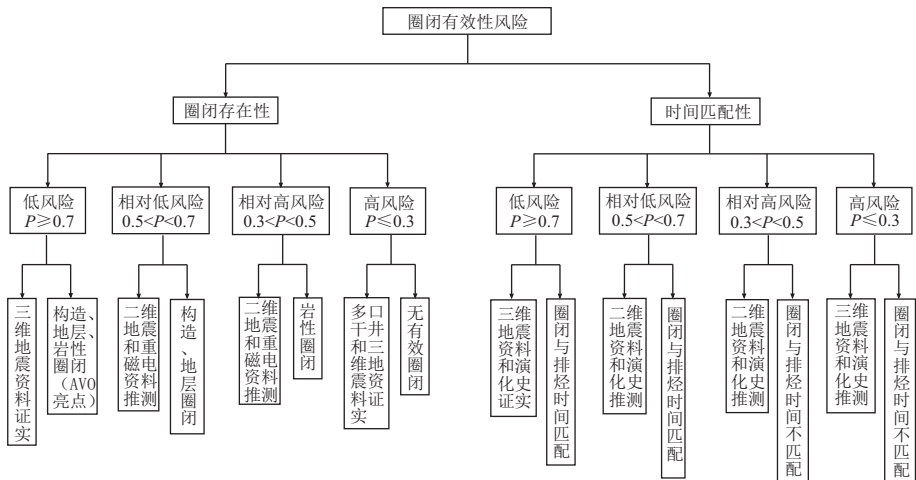


图 7 圈闭有效性评价标准

Fig.7 Assessment standards of trap effectiveness risk

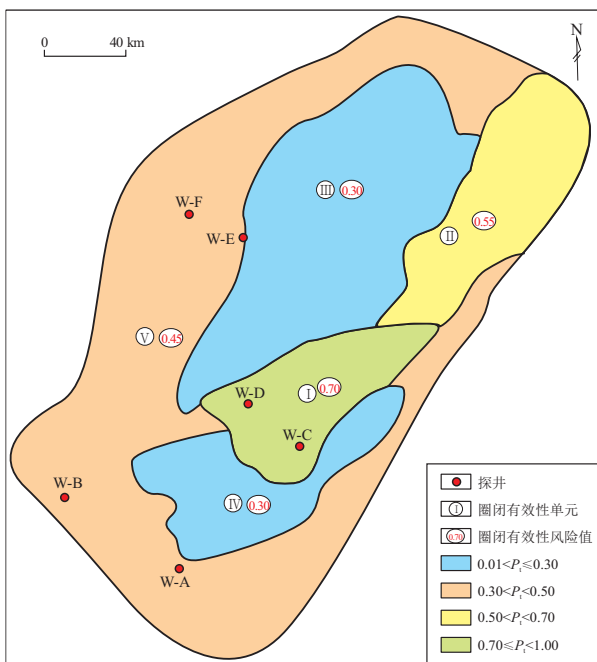


图 8 区带 A 圈闭有效性风险评价

Fig.8 Trap effectiveness risk of the play A

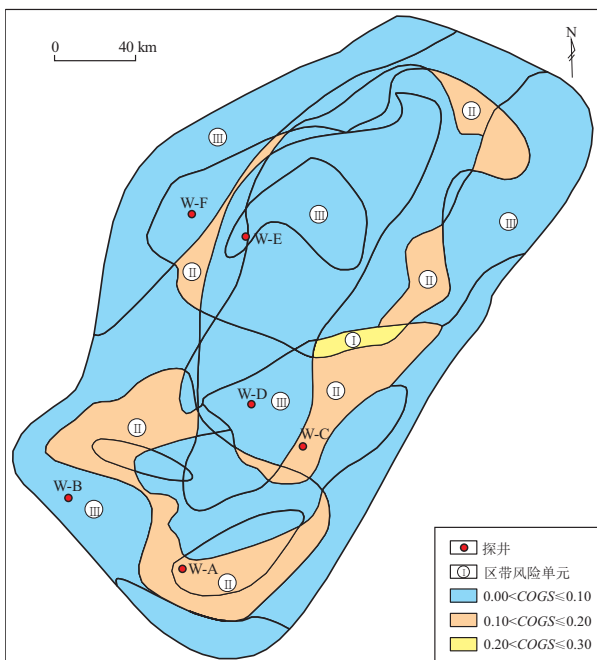


图 9 区带 A 整体区带风险评价

Fig.9 Overall play risk of the play A

区带风险主要是针对区域上风险要素进行评价,从而识别最重要的风险因素,并指导下一步勘探和研究工作方向。相对高风险区域的下一步工作是规避主要的风险因素,如构造复杂区域,需要进行构造精细解释,从而确定潜力大小;封盖条件不好的区域,需要重点关注泥页岩的分布范围和厚度,以及断层封闭性;生排烃能力差的区域,需要重

点研究油气输导体系。区带 A 的探井数量少,且地震资料覆盖范围有限,各个区域不确定性大,尤其没有探井和缺乏三维地震资料的 II 类区域,需要适当的勘探投入,加强综合潜力研究工作。

3 区带风险讨论

油气区带风险评价方法是量化评价生排烃能力、储层质量、封盖条件和圈闭有效性的风险,从而聚焦风险最小和潜力最大的区域。每个要素风险的结果很大程度上依赖于数据的可用性。更高的数据密度,允许构建更详细的风险评价单元及更可靠的风险系数。总体而言,划分评价单元的基本原理是要了解区带的整体潜力,并在区域级别圈定其“最佳区域”。由于区带 A 的地震和井数据覆盖稀疏,因此区带风险评估的过程中存在不确定性,尤其是在没有三维地震和探井的区域。随着更多数据和信息的获取,需定期更新风险决策,优化各要素风险及区带风险结果。

前人的研究主要集中在区带风险的特点、评价方法和流程上,从而优选有利区带和有利区^[10-11,22]。本文在传统区带和油气系统风险评价方法的基础上,通过分析油气区带的勘探资料情况和地质特征,建立统一评价标准和流程,划分区带评价单元,量化区带中各个评价单元的风险,形成一套定量评价油气区带风险的方法,为勘探投资决策提供依据。

区带风险评估需集思广益,而不是依靠单个人的地质经验、知识和智慧。通常,3 个或 4 个更多的有经验的地质专家在一起自由讨论和分享各自的风险评估结果,极大概率能得到一个合理的区带风险值。进一步,总结探井失利和成功的原因,能有效帮助区带风险的评估。最后,将估计的区带风险值与类似地质条件下的勘探成熟区带进行比较,帮助检验评估结果的可靠性。

4 结论

(1) 油气区带风险评价流程通过量化评价生排烃能力、储层质量、封盖条件和圈闭有效性的风险,从而聚焦风险最小和潜力最大的区域。

(2) 详尽分析各风险要素是合理评估区带风险的基础。生排烃能力、储层质量、封盖条件和圈闭有效性共同决定了区带风险大小。

(3) 区带风险主要是针对区域上风险要素进行评价,从而识别评价单元的主要风险因素,指导下一步勘探和研究工作方向。区带风险评价结果

很大程度上依赖于数据的可用性,随着勘探程度深入,数据越多,风险值越可靠。

参考文献:

- [1] BP. Statistical Review of world energy 2020[EB/OL]. [2020-06-12]. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.
- [2] 刘朝全,姜学锋. 2019年国内外油气行业发展报告[M]. 北京:石油工业出版社,2020.
LIU Chaoquan, ZHANG Xuefeng. 2019 domestic and international oil and gas industry development report[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2020.
- [3] 王俊玲,史丹妮,刘志强,等. 海外在实施油气勘探项目地质风险评价方法探讨[J]. 中国石油勘探, 2010, 15(3): 67-72.
WANG Junling, SHI Danni, LIU Zhiqiang, et al. Discussion on method for geological risk assessment of oversea hydrocarbon exploration projects[J]. China Petroleum Exploration, 2010, 15(3): 67-72.
- [4] 赵华,王斌,陈家杰,等. 利用蒙特卡洛方法评估多个勘探圈闭的策略[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(3): 331-340.
ZHAO Hua, WANG Bin, CHEN Jiajie, et al. Strategies of assessing multiple exploration traps by means of Monte Carlo method[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(3): 331-340.
- [5] 李鹭光,何海清,范土芝,等. 中国石油油气勘探进展与上游业务发展战略[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(1): 1-10.
LI Luguang, HE Haiqing, FAN Tuzhi, et al. Oil and gas exploration progress and upstream development strategy of CNPC[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(1): 1-10.
- [6] 胡素云,李建忠,王铜山,等. 中国石油油气资源潜力分析与勘探选区思考[J]. 石油实验地质, 2020, 42(5): 813-823.
HU Suyun, LI Jianzhong, WANG Tongshan, et al. CNPC oil and gas resource potential and exploration target selection[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 813-823.
- [7] 陆亚秋,王进,曹梦茜. 基于改进的层次分析法的页岩气开发选区评价方法[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(2): 204-211.
LU Yaqiu, WANG Jin, CAO Mengxi. Evaluation method of shale gas development area selection based on improved analytic hierarchy process[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(2): 204-211.
- [8] ROSE P R. Risk analysis of prospects vs. plays: The play's the thing! [J]. AAPG Bulletin, 1996, 80(9): 479.
- [9] ROSE P R. Dealing with risk and uncertainty in exploration: how can we improve? [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(1): 1-16.
- [10] FUGELLI E M G, OLSEN T R. Risk assessment and play fairway analysis in frontier basins: part 2—examples from offshore mid-Norway[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(7): 883-896.
- [11] RUDOLPH K W, GOULDING F J. Benchmarking exploration predictions and performance using 20+ yr of drilling results: one company's experience [J]. AAPG Bulletin, 2017, 101(2): 161-176.
- [12] 肖玉茹,黄学斌,李姝,等. 基于量化不确定性的储量升级动用潜力评价方法[J]. 石油实验地质, 2021, 43(1): 169-175.
XIAO Yuru, HUANG Xuebin, LI Shu, et al. A method for evaluating the potential of reserve upgrading based on quantitative uncertainty [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(1): 169-175.
- [13] 李军. 致密油藏储量升级潜力不确定性评价方法及应用[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(3): 755-764.
LI Jun. Non-deterministic method for tight oil reserves upgrade potential assessment and its application[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(3): 755-764.
- [14] 吕睿. 不确定分析法快速估算资源量实现步骤及关键[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2018, 33(1): 47-53.
LV Rui. Key steps of rapid estimation of resource quantity by uncertainty analysis[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2018, 33(1): 47-53.
- [15] MAGOON L B. Petroleum system: a classification scheme for research, resource assessment, and exploration [C]// American Association of Petroleum Geologists Annual Meeting. Los Angeles: Geological Survey, 1987.
- [16] WHITE D A. Selecting and assessing plays: chapter 8: part II. Nature of the business [J]. AAPG Special Volumes, 1992, 12(8): 87-94.
- [17] WHITE D A. Geologic risking guide for prospects and plays [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(12): 2048-2061.
- [18] MAGOON L B, DOW W G. The petroleum system: from source to trap, AAPG memoir 60 [M]. Tulsa: AAPG, 1994.
- [19] 郭秋麟,米石云. 油气勘探目标评价与决策分析[M]. 北京:石油工业出版社, 2004.
GUO Qiulin, MI Shiyun. Assessment of petroleum exploration target and exploration decisions [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [20] OTIS R M, SCHNEIDERMAN N. A process for evaluating exploration prospects [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(7): 1087-1109.
- [21] 匡建超. 基于区带—远景圈闭组合的油气勘探地质风险评价方法[J]. 天然气工业, 2007, 27(11): 121-124.
KUANG Jianchao. Geological risk assessment method of oil and gas exploration on zone and prospective trap combination [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(11): 121-124.
- [22] 闫相宾,刘超英,蔡利学. 含油气区带评价方法探讨[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 857-864.
YAN Xiangbin, LIU Chaoying, CAI Lixue. A discussion on methods of play assessment [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 857-864.